

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА РАЗНОЗЕРНИСТОСТЬ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 09Х16Н4БЛ

Маркова Е.В.

Руководитель – профессор, д.т.н. Гринберг Е.М.
ФГБОУ ВПО ТулГУ, г.Тула, nbf62@yandex.ru

Литые коррозионно-стойкие стали представляют собой отдельную группу коррозионно-стойких мартенситных сталей. Формирующаяся после литья по выплавляемым моделям неоднородная структура из-за непродолжительной и неравновесной кристаллизации имеет дендритное строение и значительную разнотернистость.

Применяемый на предприятиях режим предварительной термической обработки литых изделий из стали 09Х16Н4БЛ включает в себя: диффузионный отжиг, проводимый при 1200 °С в течение 5,5 ч, нормализацию (1050 °С, 2 ч) и высокий отпуск (600 °С, 2ч).

Однако применение высокотемпературного диффузионного отжига способствует формированию крупнокристаллической структуры с ярко выраженной разнотернистостью, которая является негативным фактором. Известно, что разнотернистость проявляется в неоднородности размеров зёрен или присутствии в структуре аномально больших зёрен, что в конечном счёте приводит к снижению эксплуатационных свойств сплавов, главным образом, сопротивление вязкому и хрупкому разрушению.

После отжига при температуре 1200 °С средний размер аустенитного зерна в стали 09Х16Н4БЛ всех исследованных составов составил 82 мкм, причём наибольшим размером зерна характеризуются стали с низким содержанием углерода (0,075-0,080 масс.%).

Нагрев до 1200 °С приводит к резкому увеличению среднего размера зерна за счёт появления в структуре чрезвычайно крупных аустенитных зёрен (до 160 мкм), что является следствием растворения мелкодисперсных частиц карбидов, оказывающих тормозящее воздействие на рост зерна. Так как такое растворение идёт неравномерно в течение времени, для отдельных зёрен, освободившихся от препятствий к росту, обусловленных частицами карбидов на их границах возникает возможность преимущественного роста.

Определение размера зерна методом случайных секущих показало, что после диффузионного отжига зерно максимального размера имеет диаметр 160 мкм, минимального размера - 4 мкм. Наличие «обрывочного», часто незамкнутого и извилистого характера границ зёрен, а также существование зерен-гигантов и мелких кристаллитов размером около 4 мкм говорит о том, что одной из причин формирования разнотернистости является развитие вторичной рекристаллизации.

Для измельчения зерна маршрутной технологией термической обработки деталей из стали 09Х16Н4БЛ предусмотрена нормализация (1050 °С, 2 ч), которая является следующим этапом термической обработки стали 09Х16Н4БЛ после диффузионного отжига .

Структурная неоднородность, хотя и в меньшей степени, чем после диффузионного отжига, присуща и нормализованной стали.

Определение среднего размера зерна показало, что после нормализации он уменьшился до 38 мкм, по сравнению с 82 мкм после диффузионного отжига.

Проведение высокого отпуска , последнего этапа в ходе предварительной термической обработки стали 09Х16Н4БЛ, не влияет на структурную неоднородность стали. Высокий отпуск предусмотрен для уменьшения напряженного состояния, формируемого после проведения нормализации, и не оказывает влияния на размер «бывшего» аустенитного зерна .

В связи с наличием разнотерности структуры, одной характеристики – среднего размера зерна – недостаточно для оценки однородности структуры. Поэтому различными методами оценивали разнотерность структуры:

1. По методике Горелика С.С. . Структура относится к разнотерной, если $d_{max}/d_{moda} \geq 3$, где

d_{max} - максимальный размер зерна;

d_{moda} - наиболее часто встречающийся размер зерна.

2. По методике, предусматривающей использование элементов математической статистики и коэффициента разнотерности .

Средний размер зерна (D_{cp}), рассчитывали по формуле:

$$D_{cp} = \frac{i_1 D_{ycl1} + i_2 D_{ycl2} + \dots + i_n D_{ycln}}{i_1 + i_2 + \dots + i_n},$$

где $D_{ycl} = L/v_n \cdot n$, L -длина секущей, мм; n - число пересечений; v -увеличение микроскопа; i -количество секущих, имеющих одинаковое число пересечений.

Среднеквадратичный разброс размера зерна или степень разнотерности σ рассчитывали согласно:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{i_2 (D_{ycl2} - D_{cp})^2 + i_2 (D_{ycl2} - D_{cp})^2 + \dots + i_n (D_{ycln} - D_{cp})^2}{i_1 + i_2 + \dots + i_n}}.$$

Коэффициент разнотерности (Kp_3) - безразмерное отношение среднего квадратичного отклонения размера зёрен к их средней величине

$$Kp_3 = \frac{1}{d_{cp}} \sqrt{\sum_i (d_i - d_{cp})^2 S_i};$$

$$d_{cp} = \sum_i S_i d_i;$$

где d_i , S_i - средний размер группы близких по величине зёрен и относительная площадь в долях единицы, занимаемая этими зёрнами.

Относительную площадь S_i оценивали линейным методом Розиваля.

Коэффициент разнотерности Kp_3 равен 0 для структур с одинаковым размером зерна и зависит как от размеров мелких и крупных зёрен, так и от их количества (занимаемой ими площади).

2. По значению коэффициента вариации согласно формуле :

$$V = (S/\bar{L}) \cdot 100 \%,$$

где S - СКО, \bar{L} – средняя длина хорды, вычисляемая согласно зависимости, $\bar{L} = \frac{\sum L_i \cdot n_i}{\sum n_i}$, где n - общее количество всех измеренных хорд, равное $\sum n_i$.

Однородная структура, по литературным данным, имеет коэффициент вариации 40 %.

В ходе исследований диаметра зерна после полного цикла предварительной термической обработки было получено, что его выборка подчиняется логнормальному распределению ($P\text{-Value}=0,118586$) с 95% вероятностью.

Таким образом, оценка разнотерности структуры стали 09Х16Н4БЛ после различных этапов предварительной термической обработки показала, что наибольший разброс в размерах зерна аустенита получен после проведения диффузионного отжига. Последующая нормализация существенно уменьшает размер зерна, однако некоторая доля разнотерности структуры сохраняется.